

Primljen / Received: 16.1.2014.

Ispravljen / Corrected: 25.5.2014.

Prihvaćen / Accepted: 17.6.2014.

Dostupno online / Available online: 1.8.2014.

Simulacijski model prometno ovisnih signalnih uređaja

Autori:



¹ **Nithya Swaminathan**, dipl.ing.građ.
nithya@measiarch.net



¹ **Nithyanandhan Rathinavel**, dipl.ing.građ.
royalcivil.nithi@gmail.com



¹ **Senthurkumar Duraisamy**, dipl.ing.građ.
dsenthurkumar@live.com



¹ Izv.prof.dr.sc. **Gunasekaran Karuppanan**, dipl.ing.građ.
kgunasekaran@hotmail.com

¹ Sveučilište Anna, Indija
Odjel za prometnice

Stručni rad

Nithya Swaminathan, Nithyanandhan Rathinavel, Senthurkumar Duraisamy, Gunasekaran Karuppanan

Simulacijski model prometno ovisnih signalnih uređaja

U većini gradova u Indiji koriste se semafori s fiksnom duljinom ciklusa, a promet se regulira ručno u satima vršnog prometa. Strategije koje se sada koriste u indijskim gradovima ne omogućuju bitno smanjenje vremena kašnjenja vozila. Prometno-ovisno upravljanje prometom omogućuje primjenu strategija za trenutno usklađivanje sa stvarnim uvjetima u prometu. Simulacijski model za gradnju cestovne arterije u Chennai-ju razvijen je primjenom prometno-ovisnog sustava upravljanja prometom koji otkriva prisustvo vozila na raskrižju i u skladu s time mijenja duljinu ciklusa. Rezultati simulacije uspoređeni su s postojećim stanjem da bi se uočile prednosti prometno-ovisnog upravljanja.

Ključne riječi:

prometno ovisno upravljanje prometom, fiksna duljina ciklusa, simulacija VISSIM-om, kašnjenje, koordinacija

Professional paper

Nithya Swaminathan, Nithyanandhan Rathinavel, Senthurkumar Duraisamy, Gunasekaran Karuppanan

Design of vehicle actuated signal using simulation

Most of the cities in India have fixed time signal settings and it is operated manually during peak hours. Existing strategies that are used in Indian cities does not offer considerable benefits in reducing the delays of all vehicles. The Vehicle Actuated Programming has the ability to provide control strategies in response to the real-time traffic conditions. Simulation based model for a major arterial in Chennai is developed using Vehicle Actuated Programming which detects vehicle presence and arrivals to modify the signal timings. The simulation results were compared with the existing traffic operations to understand the benefits.

Key words:

vehicle actuated programming, fixed time, VISSIM simulation, delay, coordination

Fachbericht

Nithya Swaminathan, Nithyanandhan Rathinavel, Senthurkumar Duraisamy, Gunasekaran Karuppanan

Simulationsmodell zur verkehrsabhängigen Signalplanung

Die meisten Städte in Indien haben zeitlich bestimmte Signaleinstellungen, die in der Hauptverkehrszeit manuell angepasst werden. Derzeitige Strategien dienen daher nicht zur Reduzierung von Verkehrsverzögerungen. Die verkehrsabhängige Programmierung ermöglicht Kontrollstrategien in Bezug auf momentane Verkehrszustände. Für eine der Hauptverkehrsrichtungen in Chennai ist diesbezüglich ein Simulationsmodell entwickelt, so dass die Anfahrt von Fahrzeugen erkannt und die Signaleinstellung entsprechend modifiziert werden kann. Simulationsergebnisse sind mit den bestehenden Verkehrseinstellungen verglichen, um entsprechende Vorteile zu erkennen.

Schlüsselwörter:

verkehrsabhängige Programmierung, Zeitbestimmung, VISSIM Simulation, Verzögerung, Koordination

1. Uvod

Zbog općeg trenda rasta prometa na gradskim prometnicama i arterijama, zagušenja u prometu postaju značajan problem koji negativno utječe na sva vozila. Ti negativni utjecaji često dovode do povećanja vremena putovanja, slabe pouzdanosti, nepredvidivog vremena dolaska na cilj, većih zakašnjenja i dugih prometnih kolona, uglavnom zbog strategije policijskog reguliranja prometa na raskrižjima. Da bi se prevladali ovi nedostaci, trebalo bi primijeniti prometno ovisan sustav upravljanja prometom koji omogućuje definiranje duljine ciklusa na bazi prometnog opterećenja u realnom vremenu uz primjenu sustava za kontinuiranu detekciju vozila [1]. Način kontrole prometa s fiksnom duljinom ciklusa uključuje unaprijed definirano vrijeme za svaku fazu svjetlosne signalizacije, dok prometno ovisan sustav upravljanja prometom omogućuje optimiziran rad svjetlosne signalizacije na raskrižju [2].

Prometno ovisno upravljanje prometom mijenja standardni način signalizacije sa svrhom bolje prilagodbe prometnom opterećenju, čime se poboljšava vrijeme prolaska, upravljanje vozilima i kapacitet cestovne prometnice. Jasno je da već u svom osnovnom obliku ovakav način upravljanja predstavlja sofisticiran pristup koji se može primijeniti na gradskoj mreži prometnica jer se na odgovarajući način prilagođuje vozilima, uzimajući pritom u obzir zahtijevanu razinu usluge. Međutim, prije uvođenja tog sustava, svakako je potrebna detaljna analiza konfiguracije detektora i veličine petlji koje će se primijeniti, načina grupiranja faza signalnih uređaja, te primjena tzv. dummy (zamjenskih) faza [3].

Analize su pokazale da primjena prometno ovisnog načina upravljanja prometom doprinosi povećanju učinkovitosti izoliranih raskrižja [4]. Pouzdanost provedbe takvog sustava na nekom cestovnom koridoru ovisi o karakteristikama prometnog toka, geometriji, prometnom opterećenju na poprečnim prometnicama te načinu rada signalnih uređaja [5, 6]. Utjecaj poprečnog prometnog toka [7] treba se detaljno proučiti prije uvođenja prometno ovisnog načina upravljanja prometom. Kada se dobro analizira i provede, takav način upravljanja prometom dugoročno je rješenje utemeljeno na optimalizaciji signalnih uređaja kroz automatsko podešavanje duljine ciklusa i pojedinih faza u skladu s promjenama u prometnom toku [9, 10].

Djelotvornost prometno ovisnog sustava upravljanja prometom na raznim cestovnim raskrižjima analizirana je u okviru određenog broja studija. Međutim, učinkovitost takvog sustava u heterogenim uvjetima odvijanja prometa na cestovnim koridorima do sada se analizirala u vrlo malom broju istraživanja [11]. Stoga je uočena potreba za analiziranjem koristi koje bi spomenuti sustav mogao donijeti u postupku optimalizacije signalnih uređaja na cestovnim koridorima.

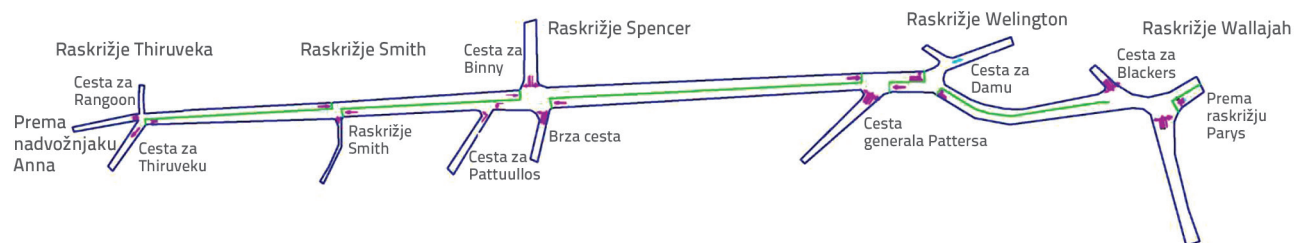
U radu se opisuje mikroskopska simulacija koja je provedena da bi se ocijenile koristi primjene prometno ovisnog načina upravljanja prometom na gradskoj arteriji u Chennaiju u Indiji. Predložena metodologija sastoji se od tri komponente: a) procjena zakašnjelosti za postojeće stanje s fiksnom duljinom ciklusa svjetlosne signalizacije, b) procjena zakašnjelosti s prometno ovisnim načinom upravljanja prometom, c) procjena zakašnjelosti uz koordinirani rad signalnih uređaja (fiksna duljina ciklusa). Rezultati simulacije pokazuju da se mogu zanemariti mogući ukupni negativni utjecaji u razdobljima manje potražnje jer se oni kompenziraju dobicima zbog potrošnje neiskorištenih kapaciteta na raskrižju.

2. Područje analize

Kao područje za provedbu analize odabran je potez od 3,1 km na cesti Anna Salai, koja je jedna od glavnih gradskih arterija u Chennaiju (slika 1.). Prometnica Anna Salai (bivša Planinska cesta) zapravo je šestotračna cesta s dva odvojena kolnika, a izvedena je da bi se omogućilo nesmetano odvijanje prometnog toka. Međutim, zbog razvoja obrazovnih institucija i komercijalnih aktivnosti u toj zoni, ipak se na toj prometnici bilježi vrlo gust promet u satima vršne opterećenosti. Na promatranoj dionici postoji pet semaforiziranih raskrižja: raskrižje Thiruveka, raskrižje Smith, raskrižje Spencer, raskrižje Wellington i raskrižje Wallajah.

3. Sadašnje stanje prometa

Brojenje prometnog opterećenja obavili su brojači dobrovoljci u vremenu od 7 do 12 sati. Podaci o vršnom jutarnjem prometu dobiveni su na temelju terenskih opservacija. Podaci o vršnom prometu na analiziranim raskrižjima prikazani su u tablici 1. U strukturi prometa sudjelovale su sljedeće kategorije vozila: osobni automobili (37 %), motorkotači (45 %), autobusi (8 %) i motorne rikše (10 %). U vršnim satima promet



Slika 1. Analizirano područje

se na raskrižjima regulira ručno, dok se u ostalim razdobljima promet regulira svjetlosnom signalizacijom s fiksnim vremenom izmjene signala.

Tablica 1. Prometna opterećenost raskrižja izražena u broju prolaska vozila u jednom satu

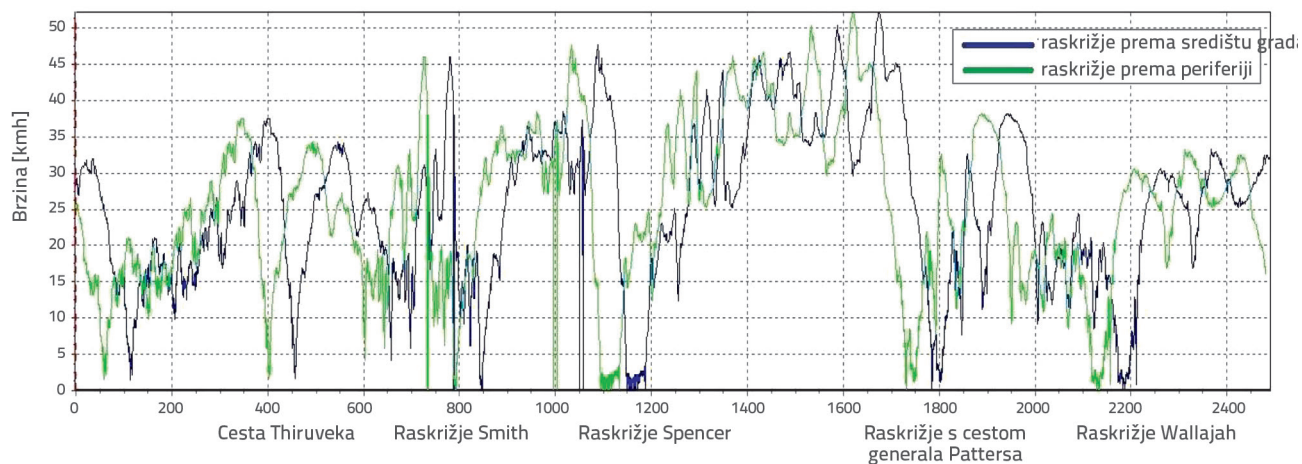
Naziv raskrižja	Broj vozila u satu	Broj ekvivalentnih osobnih vozila u satu
Raskrižje Thiruveka	8883	7861
Raskrižje Smith	7086	6661
Raskrižje Spencer	12.344	11.110
Raskrižje Wellington	7881	6187
Raskrižje Wallajah	11.624	10.682

Analiza vremena putovanja obavljena je u jutarnjem satu vršnog prometa pomoću testnog vozila opremljenog GPS sustavom. Provedeno je dvanaest vožnji testnim vozilom. Profil brzina za prvu vožnju prikazan je na slici 2. Smatra se da je vozilo zaustavljeno ako mu brzina iznosi manje od 2,5 km/h [12]. Profili prikazani na slici 2. su originalni podaci bez ublažavanja razlika. Proračun zakašnjelosti [12] obavljen je zbrajanjem svih triju komponenti zakašnjelosti. Udio zakašnjelosti usporavanja, stajanja i ubrzanja prikazan je u tablici 2.

Dvije video kamere bile su postavljene na povišenim mjestima na raskrižju Spencer da bi se tako snimilo vrijeme dolaska vozila, trajanje vremenskog ciklusa, trajanje zelenog svjetla te vrijeme odlaska vozila. Kamere su bile tako postavljene da mogu snimiti kretanje vozila koja su dolazila od raskrižja Smith na raskrižje Spencer. Ti

Tablica 2. Zakašnjelost zbog ubrzanja, zaustavljanja i usporavanja izmjerena na raskrižju Spencer

Broj vožnje	Zakašnjelost ubrzanja [s]	Zakašnjelost stajanja [s]	Zakašnjelost usporavanja [s]	Prosječna zakašnjelost [s]
VOŽNJA 1	15,53	33,5	17,46	66,49
VOŽNJA 2	14,94	40,75	13,58	69,27
VOŽNJA 3	12,4	44,75	11,48	68,63
VOŽNJA 4	20,09	48,5	10,22	78,81
VOŽNJA 5	15,22	82	11,03	108,25
VOŽNJA 6	7,92	48,25	7,44	63,61
VOŽNJA 7	4,61	64,5	13,28	82,39
VOŽNJA 8	17,31	53,25	7,35	77,91
VOŽNJA 9	9,47	52,25	17,3	79,02
VOŽNJA 10	10,69	50,5	8,18	69,37
VOŽNJA 11	13,92	61	8,3	83,22
VOŽNJA 12	7,16	67,75	10,46	85,37

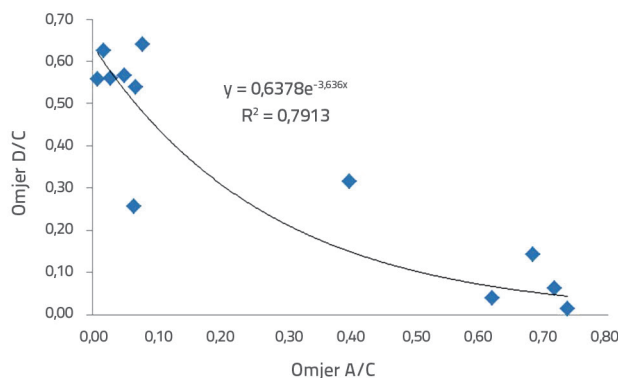


Slika 2. Profil brzine tipične vožnje u satu jutarnjeg vršnog prometa

videozapisi su poslužili za određivanje vremena dolaska, vremena odlaska testnog vozila, te odgovarajućeg vremenskog ciklusa i zelenog trajanja faze. Vremena dolaska i odlaska također su kontrolirana pomoću vremenskih zapisa putem GPS uređaja. Kako se tu radilo o jutarnjem vršnom satu, odvijanje prometa na raskrižju regulirala je prometna policija (ručno reguliranje prometa). Ustanovljeno je da se duljina ciklusa i zeleno trajanje razlikuju u svakoj pojedinoj fazi. Vrijeme ciklusa tijekom ručnog upravljanja prometom na raskrižju Spencer variralo je od 134 sekundi do 288 sekundi (prosječno vrijeme ciklusa iznosilo je 192 sekunde).

Ustanovljeno je da zakašnjelost zbog stajanja varira u ovisnosti o vremenu dolaska u pojedinom ciklusu. Definiran je odnos između zakašnjelosti stajanja i trajanja ciklusa (u daljnjem tekstu D/C), te odnos između vremena dolaska i trajanja ciklusa (u daljnjem tekstu A/C). Odnos D/C prema odnosu A/C koji je registriran na raskrižju Spencer prikazan je na slici 3. Iz tog se prikaza vidi da ako jedno vozilo dođe na početak crvenog svjetla, tada će odnos A/C biti minimalan dok će odnos između zakašnjelosti zbog stajanja i trajanja ciklusa biti veći. Uzmimo na primjer raskrižje s trajanjem ciklusa od 140 sekundi te sa zelenim svjetlom za pristupnu cestu koje traje 45 sekundi. Ako vozilo dođe deset sekundi nakon početka crvenog svjetla, tada će omjer između A i C iznositi $10/140 = 0.07$, dok će zakašnjelost zbog stajanja iznositi više od 50 % trajanja ciklusa, tj. iznositi će najmanje 70 sekundi. U slučaju navedenog raskrižja, ako vozilo dođe u stotoj sekundi nakon početka ciklusa (tj. u petoj sekundi faze zelenog svjetla), tada će vozilo imati minimalno zakašnjelost zbog stajanja otprilike 10 sekundi. Prema tom prikazu, zakašnjelost svakog vozila moglo bi se izračunati kada bi bio poznat obrazac dolaska vozila i trajanje ciklusa. Ovaj način proračuna mogao bi biti pogodan za određivanja zakašnjelosti zbog stajanja vozila kod raskrižja s ručnim upravljanjem prometa.

Ukupno izmjereno vrijeme zakašnjelosti zbog stajanja za vozila koja su se kretala od raskrižja Thiruveka do raskrižja Wallajah iznosilo je oko 110 sekundi, odnosno oko 87 sekundi za kretanje u suprotnom smjeru.



Slika 3. Prikaz odnosa zakašnjelosti stajanja i trajanja ciklusa (D/C) i vremena dolaska i trajanja ciklusa (A/C)

Obrasci kretanja vozila kroz analizirano područje (tj. ulazno raskrižje, linija kretanja i izlazno raskrižje) dobiveni su uspoređivanjem brojeva na registarskim tablicama vozila. Vremena signalnog ciklusa usvojenog za simulaciju prema ovom scenariju bazirana su na konceptu da niti jedno vozilo ne bi smjelo čekati duže od 120 sekundi. Obrasci kretanja vozila poslužili su za definiranje trajektorije (kretanja vozila po cestovnoj mreži) za potrebe simulacije.

4. Izrada simulacijskog modela

Za izradu modela korišten je program VISSIM 5.3 i pritom je trebalo primijeniti slijedeće korake, a to su:

- Unos pozadinske slike analiziranog područja.
- Izrada cestovne mreže pomoću pozadinske slike te veza i spojeva (čvorova).
- Određivanje vrsta i kategorija vozila pomoću modula za izbor parametara vozila.
- Određivanje strukture prometa na ulaznim točkama analiziranog područja.
- Definiranje raspodjele brzina na temelju snimljenih podataka za svako vozilo.
- Trajektorija je definirana na bazi obrasca kretanja vozila koja ulaze u analizirano područje i izlaze iz toga područja. Trajektorija je ruta koju odabiru vozila da bi od polazišta stigla do odredišta. Dvanaest ulaznih i izlaznih mjesta u analiziranom području usvojeno je kao 12 prometnih zona. Za ovo je istraživanje definiran obrazac kretanja prema OD matrici 12 x 12.
- Semafori uređaji definirani su u VISSIM-u pomoću internog uređaja za fiksno vrijeme / VAP uređaj. Signalne su glave postavljene u modelu na način da označavaju zaustavne linije.
- Točke prikupljanja podataka dodane su mreži i odgovaraju stvarnim točkama prikupljanja izlaznih podataka.

4.1. Modeliranje prometno ovisnog sustava upravljanja prometom

Vremensko trajanje i redoslijed faza na uređajima s fiksnim intervalima dobiveni su od prometne policije grada Chennaija. Modul VAP definiran je kako slijedi:

1. Određivanje zone detekcije vozila postavljanjem dva detektora za svaki trak na svakom privozu. Detektori su uočavali prisutnost vozila u prostoru između njih.
2. Određivanje promjenljivog vremenskog trajanja faze na temelju procjene potrebnog vremena pražnjenja za detektirana vozila. Kada niti jedno vozilo nije bilo detektirano u intervalu od pet sekundi između dva detektora, ta bi faza bila umanjena. U svakoj je fazi postavljeno minimalno vrijeme za siguran prolazak vozila. Definirana je i maksimalna vremenska granica za završetak faze ako je uočen kontinuirani tok prometa.

Tablica 3. Validacija simulacijskog modela uspoređivanjem s postojećim stanjem (raskrižje Spenser)

Ulica	Kretanje vozila	Broj vozila u satu	
		Simulirano stanje	Postojeće stanje
Gemini	Lijevo	647	784
	Ravno	2499	2517
	Ukupno	3146	3301
EA	Lijevo	311	328
	Desno	246	249
	Ukupno	557	577
Binny	Lijevo	276	295
	Desno	3186	3926
	Ukupno	3462	4221
LIC	Lijevo	100	94
	Ravno	4104	4207
	Desno	456	538
	Ukupno	4660	4839
Ukupno		11825	12938

4.2. Validacija modela

Prometni tok registriran na raskrižjima uspoređen je s prometnim tokom dobivenim pomoću modela. Ustanovljeno je da razlika iznosi manje od 10 %. Stoga je zaključeno da je model pouzdan. Na primjer, tijekom jutarnjeg vršnog sata na raskrižju Spencer registriran je promet od 12,938 vozila, dok je putem simulacijskog modela dobiven promet od 11,825 vozila (tablica 3.). Razlika dakle iznosi 9,4 %.

5. Formuliranje scenarija

Formulirani su logični scenariji da bi se usporedila učinkovitost prometno ovisnog načina upravljanja prometom i načina upravljanja semaforskim uređajima s unaprijed definiranim (fiksnom) duljinom ciklusa. Slijedi opis modeliranih scenarija.

5.1. Prvi scenarij: Postojeće stanje s fiksnim signalnim uređajima

Mreža je modelirana unošenjem podataka o brojenju prometa za jutarnji vršni sat. Fiksni signalni uređaji postavljeni su s fazama koje se smatraju poželjnim za jutarnji sat vršnog prometa. Obrazac faza i vremenski intervali prikazani su na slici 4. Slika 4. prikazuje maksimalnu duljinu ciklusa i trajanje zelenog svjetla definiranih za rad semafora s fiksnom duljinom ciklusa i pojedinih faza (1. scenarij) i za koordinirani rad fiksnih signalnih uređaja (3. scenarij). Stupanj zasićenosti (tj. omjer V/C) na raskrižju Spencer iznosio je 1,74 za spomenute fiksne

vremenske intervale signalnih uređaja. Stupanj zasićenja tj. omjer V/C za raskrižje izračunan je pomoću jednadžbe (1) [13]:

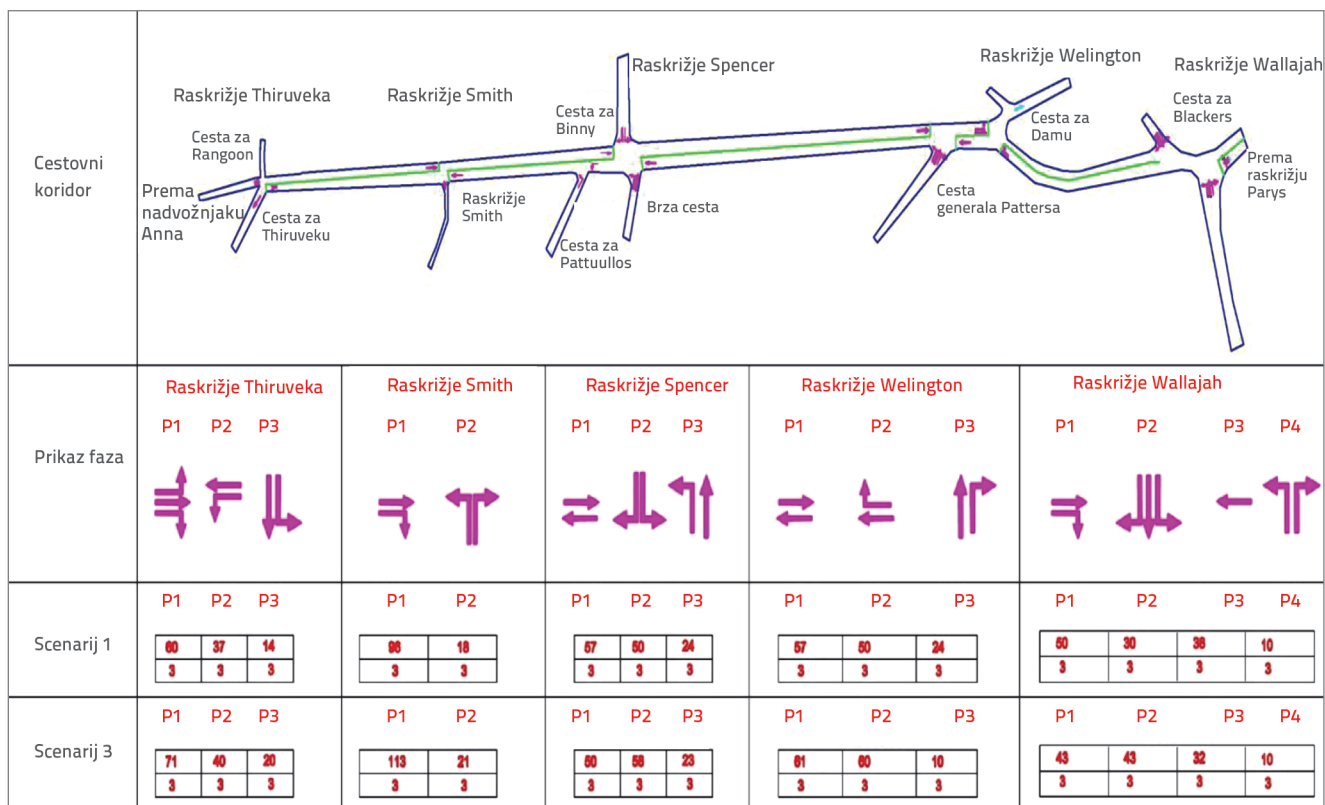
$$V/C = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{C_i} \quad (1)$$

gdje je:

$$C_i = \frac{g_i}{C} s_i$$

- n – broj faza
- V_i – kritičan prometni tok, PCE/h
- C_i – kapacitet kritične grupe trakova za fazu i , PCE/h
- s_i – zasićeni prometni tok kritične grupe trakova, PCE/h
- g_i – efektivno zeleno trajanje za kritičnu grupu trakova u sekundama
- C – duljina ciklusa u sekundama
- PCE/h – broj ekvivalentnih osobnih vozila u satu

Prosječno zakašnjelost (eng. *control delay*), koje uključuje zakašnjelost usporavanja, zakašnjelost stajanja i zakašnjelost ubrzanja, za sva je raskrižja prikazano na slici 6. Uočeno je da većina vozila izlazi iz raskrižja u drugom ciklusu. Trajanje jednog zelenog svjetla nije bilo dovoljno da bi raskrižjem prošla sva vozila akumulirana za vrijeme trajanja crvenog svjetla te vozila koja su pristigla za vrijeme trajanja tog istog zelenog svjetla. Tijekom ručne kontrole prometa policija je povećavala ili smanjivala trajanje zelenog svjetla ovisno o vremenu koje je bilo potrebno da sva akumulirana vozila prođu kroz raskrižje. Stoga je uočeno da je zakašnjelost za maksimalnu duljinu ciklusa kod scenarija s fiksnim vremenom veće nego u slučaju ručnog upravljanja prometom.



Slika 4. Regulacija fiksnih signalnih uređaja za scenarije 1 i 3

5.2. Drugi scenarij: Prometno ovisni signalni uređaji

Sustav prometno ovisnih signalnih uređaja koji je opisan u točki 4.2 modeliran je za sva raskrižja. Model varijabilnog ciklusa / varijabilnih faza izrađen je za sva raskrižja. Primjer vremenskih intervala za uređaje upravljane prometom na raskrižju Thiruveka prikazan je na slici 5.

Duljina ciklusa za scenarij uređaja upravljanih prometom na raskrižju Spencer varirala je od 127 do 269 sekundi. Prosječno zakašnjenost na raskrižjima u ovom scenariju bilo je bitno niže od zakašnjenja zabilježenog kod scenarija s fiksnim uređajima (slika 6.).

5.3. Treći scenarij: Koordinirani rad fiksnih signalnih uređaja

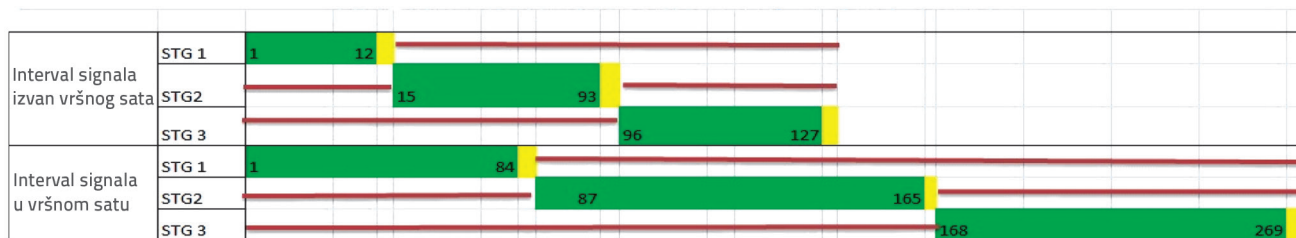
Kritično raskrižje je raskrižje Spencer. Duljina ciklusa za kritično raskrižje usvojena je ista za sva raskrižja te je

koordinirano kretanje vozila prema Parrys-u. Određeno je i vrijeme pomaka signala za koordinaciju signalnih uređaja pod pretpostavkom da brzina kretanja vozila iznosi 30 km/h. Raspored faza i vremenski intervali prikazani su na slici 4.

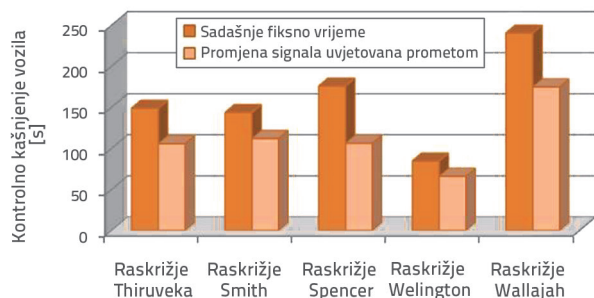
6. Rezultati i analiza

6.1. Usporedba primjene uređaja upravljanih vozilima i uređaja s fiksnim intervalima

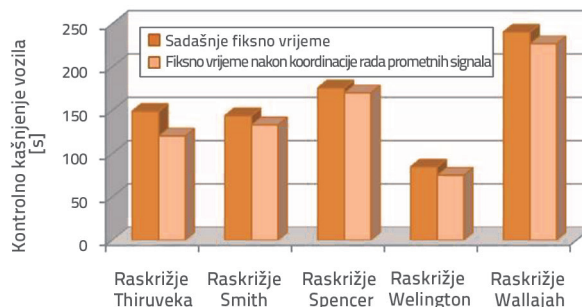
Prosječno zakašnjenost po vozilu određeno simulacijskim modelom upućuje na učinkovitost raskrižja (slika 6). Pokazatelji o učinkovitosti analiziranih raskrižja pokazuju da se zakašnjenost smanjuje za otprilike 28 % ako se primjenjuje prometno ovisan sustav upravljanja prometom tj. prometno ovisni signalni uređaji. U scenariju 2, smanjenje kašnjenja u odnosu na scenarij 1 variralo je od 20 do 39 %. Na kritičnom raskrižju (raskrižje Spencer) zakašnjenost je smanjena za 39 %.



Slika 5. Prikaz intervala za uređaje upravljane prometom – raskrižje Thiruveka



Slika 6. Usporedba signala upravljanih vozilima i signala s fiksnim vremenom



Slika 7. Usporedba fiksno reguliranih signala s koordiniranim fiksno reguliranim signalima

6.2. Usporedba postojećih fiksno reguliranih signala s koordiniranim fiksno reguliranim signalima

Simulirano prosječno zakašnjenje po vozilu omogućuje bolje razumijevanje učinkovitosti raskrižja (slika 7.). Duljina ciklusa signala, tj. duljina ciklusa potrebna za kritično raskrižje, pretpostavljena je 140 sekundi. Pretpostavljeno je i da se promet odvija brzinom od 30 km/h. Nakon koordinacije signalnih uređaja, postignuto je prosječno smanjenje vremena zakašnjenja od 8 % u usporedbi sa scenarijem 1. Isto tako, vrijeme zakašnjenja se smanjuje i ako se izvrši koordinacija prometno ovisnih signalnih uređaja.

7. Zaključak

Predlaže se zamjena postojećih fiksno reguliranih signala s prometno ovisnim signalnim uređajima. Provedena je simulacijska analiza da bi se odredila učinkovitost fiksno

reguliranih signala i prometno ovisnog upravljanja prometom. Ustanovljeno je da se zakašnjenje smanjuje za 28 % ako se koriste prometno ovisni signalni uređaji. Moguće je i dodatno smanjenje ako se izvrši koordinacija rada prometno ovisnih signalnih uređaja.

Uz tehnološka postignuća kao što je kamera s virtualnom petljom moguće je primijeniti prometno ovisan sustav upravljanja prometom. Ako se taj sustav primijeni za kontrolu prometa, vrijeme zakašnjenja može biti bitno smanjeno.

Zahvale

Autori iskreno zahvaljuju Centru IITM-a za unapređenje prometa u urbanim cjelinama što je financijski pomogao u izradi "Studije o sigurnosti radnih zona u urbanim područjima". Također zahvaljuju i prometnoj policiji grada Chennaija na pomoći pruženoj prvom autoru u postupku prikupljanja podataka.

LITERATURA

- [1] Feng-Bor Lin.: Knowledge Base on Semi-Actuated Traffic-Signal Control. Journal of Transportation Engineering, Vol. 117, No. 4, 1991. (doi: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1991\)117:4\(398\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1991)117:4(398)))
- [2] Cassidy, M.J., Chuang Y.H., Vitale, J.: Reexamining Vehicle – Actuation Strategies At Isolated Signalized Intersections. Journal of Transportation Engineering, American society of Civil Engineers, Vol. 122, pp. 235 – 240, 1996.
- [3] Ravikumar, P., Mathew, T.V.: Vehicle – Actuated signal Controller For Heterogeneous Traffic Having Limited Lane discipline, Journal of Intelligent Transportation Systems, pp. 44 – 53, 2011.
- [4] Bruce X Wang, et al.: Vehicle Actuated Signal Performance Under General Traffic at an Isolated Intersection, 2010.
- [5] Yun, I., Park, B.: Stochastic Optimization for Coordinate Actuated Traffic Signal Systems. Journal of Transportation Engineering, American society of Civil Engineers, Vol. 137, No. 7, 2012, pp. 819-829, 2012.
- [6] Park, B., Chen, Y.: Quantifying the Benefits of Coordinated Actuated Traffic Signal Systems: A Case Study., VTRC 11-CR2, 2010.
- [7] Dixon, M.: Development of New Actuated signalized Intersection Performance measurement Methodologies Using Traffic Controller Input and Output Data. National Institute for Advanced Transportation Technology. University of Idaho. KLK120, N08-14, 2008.
- [8] Mao, C., Pei, Y.: Phase and Timing Optimization at Actuated-coordinated Signal Control Intersection. ICCTP 2009: Critical Issues in Transportation Systems Planning, Development, and Management. (doi: [10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1991\)117:4\(398\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1991)117:4(398)))
- [9] Cassidy, M., Coifman, B.: Design of a Machine Vision-Based, Vehicle Actuated Traffic Signal Controller. California PATH Research Report, 1998.

- [10] Newell, G.F.: Vehicle-Actuated Control of a Diamond Interchange. Institute of Transportation Studies (UCB), UC Berkeley, 1998.
- [11] Jun Ding, Qing He.: Development and Testing of Priority Control System in Connected Vehicle Environment. TRB 92th Annual Meeting at Washington, D.C. January 2013
- [12] Ko, J., Hunter, M.P., Guensler, R.L.: Measuring control delay using second – by – second GPS speed data, Transportation Research Board 2007., Annual Meeting CD- ROM(2007).
- [13] Robertson, H.D., Hummer, J.E., Nelson, D.C.: "Manual of Transportation Engineering Studies", Institute of Transportation Engineers, Washington, USA, 1994.